

# Säteilytyö ydinvoimalassa



## LUKIJALLE

*Uusi Pyhäjoelle suunniteltava ydinvoimala on Suomen kolmas ja pohjoisin ydinvoimalaitos, jonka myötä ydinvoima on noussut puheenaiheeksi Oulun seudulla. Ydinvoimalan rakentamisen vaikutukset ulottuvat myös terveysalalle, sillä esimerkiksi terveydenhoitajat työskentelevät ydinvoimalaitoksessa tiiviissä yhteistyössä työterveyslääkärin kanssa säteilytyöntekijöiden terveyden tarkkailussa.*

*[1; 2, s. 49-50]*

*Ydinvoimaloissa uudet työntekijät koulutetaan säteilytyöhön ennen työn aloittamista, mutta säteilytyöntekijän terveyden seurannan erityispiirteet olisi hyvä ottaa esille jo terveysalan opiskelijoiden koulutuksessa. Tässä oppaassa on tietoa ydinvoimasta Suomessa, turvallisuuskulttuurista, säteilytyön erityispiirteistä sekä säteilyvaaratilanteessa toimimisesta.*

*Erityiskiitokset Teille*

*Timo Kontio, Sari Wuolijoki,  
Janne Anttila & Anja Henner*

*Noora Hakala & Riina Mattila  
Oulun ammattikorkeakoulu*

*2018*

# SISÄLLYS

1	TURVALLISUUSKULTTUURI YDINVOIMALASSA .....	3
2	YDINVOIMA SUOMESSA .....	5
2.1	Ydinvoimalan toimintaperiaate.....	5
2.2	Ydinvoimala työskentely-ympäristönä .....	7
2.3	Ydinvoimalan ympäristön valvonta .....	7
3	SÄTEILYTYÖ.....	8
3.1	Säteilyfysiikka .....	8
3.2	Säteilyöntekijöiden luokittelu.....	9
3.3	Työskentelyalueiden luokittelu.....	9
4	SÄTEILYTYÖNTEKIJÖIDEN TERVEYDEN SEURANTA.....	11
4.1	Terveystarkkailun sisältö .....	12
4.1.1	Alkutarkastus.....	12
4.1.2	Terveyden seuranta .....	13
4.2	Tervystarkkailu poikkeustilanteissa .....	13
4.3	Säteilytyön vaatimukset ydinvoimalaympäristössä .....	14
5	SÄTEILYN AIHEUTTAMAT HAITTAVAIKUTUKSET .....	16
5.1	Deterministiset haittavaikutukset .....	16
5.2	Stokastiset haittavaikutukset .....	18
6	TOIMINTAOHJE SÄTEILYVAARATILANTEESEEN.....	19
6.1	Valtio .....	19
6.2	Pelastus- ja hoitohenkilökunta .....	19
6.3	Väestö .....	21
	LÄHTEET .....	23

# 1 TURVALLISUUSKULTTUURI YDINVOIMALASSA

Turvallisuuskulttuuri-termi otettiin ydinvoimalaitosympäristössä käyttöön Tšernobylin onnettomuuden jälkeen 1980-luvun loppupuolella. Tällä laajalla käsitteellä (kuvio 1) viitataan usein organisaation jäsenten asenteisiin, arvoihin ja oletuksiin turvallisuuden osalta. Turvallisuuskulttuurin ensisijaisena tavoitteena on toiminnan turvaaminen. [3, s.183; 4, s. 130; 5, s. 37; 6, s. 5]

Ydinvoimalaitoksiin voi kohdistua sisäisiä tai ulkoisia uhkia, jotka voivat uhata laitoksen turvallisuustoimintoja. Huomioon on otettava seismiset ilmiöt, harvinaiset sääolot, laitoksen toimintaympäristössä tapahtuvien onnettomuuksien vaikutukset sekä muut ympäristöstä tai ihmisen toiminnasta johtuvat seikat. Myös lainvastainen toiminta ja suuren lentokoneen törmäys otetaan huomioon. Turvallisuuskulttuurin merkitys korostuu ydinvoimalaitosympäristössä, sillä nykyisillä toimilla ja päätöksillä voi olla seurauksia maapallolle kymmeniä tuhansia vuosia. Ydinvoimalaitosten turvallisuuskulttuuri koostuu eri osa-alueista, kuten lainsäädännöstä, koulutuksesta, työtyytyväisyydestä, yksilön vastuullisuudesta sekä kommunikoinnista. Turvallisuuskulttuuri on vain niin hyvä ja toimiva, kuin sitä toteuttavat henkilöt haluavat sen olevan. Se edellyttää jokaisen henkilökunnan jäsenen panosta. [4, s. 131; 6, s. 3-4; 7, s. 5; 8, s. 7; 9, s. 5-6]

Inhimilliset tekijät liittyvät vahvasti ydinvoimalaitoksen sisäiseen turvallisuuteen, sillä esimerkiksi inhimillisellä virheellä voidaan aiheuttaa laitoksen toimintahäiriö. Organisaation ja esimiesten turvallisuuskulttuurikäsitteet antavat suuntaviivoja, joita työntekijät käyttävät päättäessään työskentelevätkö he turvallisten tapojen mukaisesti. Heikko tai välinpitämätön turvallisuuskulttuuri muotoilee työntekijöiden asenteita siitä, onko hyväksyttävää ”mennä sieltä mistä aita on matalin”. Tämä saattaa heikentää organisaation turvallista toimintaa pidemmällä aikavälillä ja johtaa merkittävään haitalliseen käyttötapahtumaan. [5, s. 38; 6, s. 5, 8]

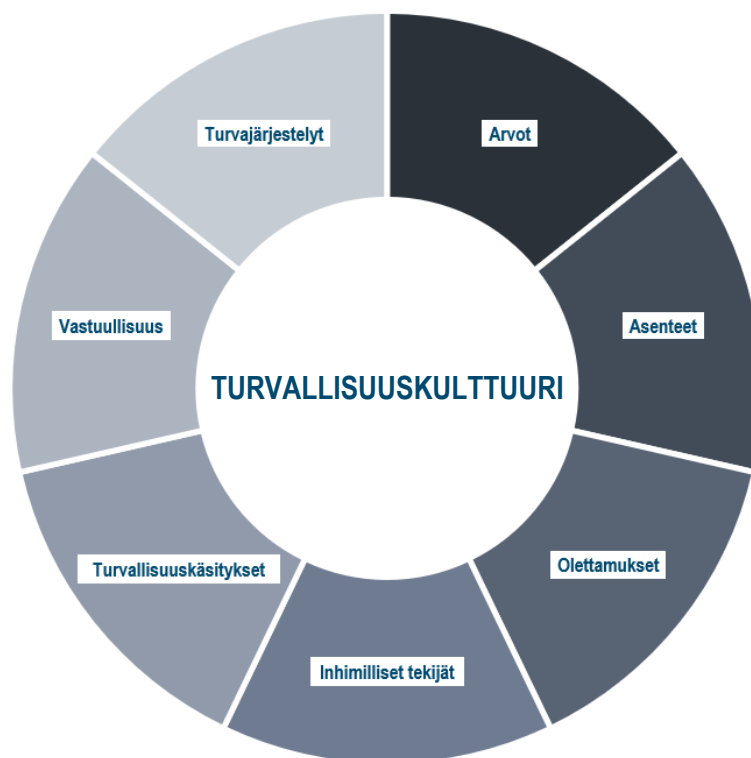
*Turvallisuuskulttuuri on vain niin hyvä ja toimiva, kuin sitä toteuttavat henkilöt haluavat sen olevan.*

On tärkeää tiedostaa, että toisinaan organisaatiossa toiminnan tavoitteet vaikuttavat olevan riskitilassa turvallisuuskysymysten kanssa. Turvallisuuskysymykset ovat usein aiheita, joista joudutaan keskustelemaan erilaisten näkemysten vuoksi. Erimielisyyksiä voivat aiheuttaa esimerkiksi erilaiset näkemykset turvallisuudesta tai vaarallisuudesta. Turvallisuuskulttuurin vaikuttaa lisäksi se, kuinka organisaatio kohtelee epäkohtiin puuttuvia työntekijöitään. [3, s. 189]

Ydinvoimalaitoksen tulee huolehtia turvajärjestelyistä, joista näkyvimpänä esimerkkinä ovat laitosalueen tehokkaat rakenteelliset esteet lainvastaiselle toiminnalle. Turvallisuusjärjestelyt

perustuvat useampaan sisäkkäiseen turvallisuusvyöhykkeeseen, jotta tärkeimmät järjestelmät ja laitteet sekä ydinmateriaalijäte ja muu jäte ovat erityisen suojattuja. Itse laitosalue on kaksoisaidattu ja sijaitsee alueella, jossa liikkumista ja oleskelua on rajoitettu. Alue on myös jaettu eri vyöhykkeisiin turvallisuusmerkityksen mukaisesti. Kulkuoikeuksia on rajoitettu ja niitä myönnetään kriittisemmille vyöhykkeille vain tarvittaessa. Lisäksi kulunvalvontaa ja tavaraliikenteen valvontaa helpotetaan siten, että henkilö- ja materiaaliliikenteen sekä kulkuaukkojen ja -reittien määrä pidetään niin pienenä, kuin käytännössä on mahdollista. [9, s. 6-8, 12]

Ydinvoimalaitoksen alueella liikkuvalla tulee olla kulkulupa, johon on määritelty erikseen kulkuoikeudet eri vyöhykkeille ja alueille. Kulkuluvan saaneella henkilöllä tulee olla kuvalla varustettu henkilökortti, jota on pidettävä näkyvällä paikalla kaikilla turvajärjestelyvyöhykkeillä. Kulkuluvan saavat vain henkilöt, jotka tarvitsevat sen työnsä vuoksi ja joista viranomainen on tehnyt turvallisuusselvityksen. Kaikki henkilöt on tunnistettava biometrisesti ennen laitosalueelle sisäänkäyntiä. Vierailijoita laitosalueelle saa päästää vain rajallisen määrän ja ainoastaan saattajan seurassa. Saattajan on ohjattava ja valvottava vierailijoita koko vierailun ajan. [9, s. 12-13]



**Kuvio 1.** Turvallisuuskulttuuriin vaikuttavat tekijät. [3, s. 183, 189; 4, s. 131; 5, s. 38; 6, s. 3-5, 8; 9, s. 6-8]

## 2 YDINVOIMA SUOMESSA

Ydinvoimalaitoksessa työskentelevien kohdalla on huomioitava säteilytyön ja työskentely-ympäristön erityispiirteet, jotka ovat hyvin erilaisia terveysalaan verrattuna. Säteilylle altistuvien ydinvoimalaitostyöntekijöiden henkilökohtaisia säteilyannoksia seurataan. Ydinvoimalan työskentely-ympäristö on teollinen, joten ymmärtääseen säteilytyön erityispiirteitä ydinvoimalaitoksessa, tulee ymmärtää sen toimintaperiaate. [10, s. 24]

### 2.1 Ydinvoimalan toimintaperiaate

Ydinvoimalaitos on lämpövoimalaitos, joka on suunniteltu erityisesti sähköntuotantoon. Ydinreaktiossa lämpöä saadaan fission tuloksena. Fissionilla tarkoitetaan uraaniatomien ytimien halkeamisreaktioita, jotka tapahtuvat ydinreaktorin sisällä. Ydinreaktorin lämmöntuotanto pysyy hallittuna sopivissa olosuhteissa, jolloin ytimien halkeamisen ketjureaktio ylläpitää itseään. Fissionreaktiossa syntyneen lämpöenergian avulla tuotetaan höyryä, jonka sisältämä energia muutetaan turbiinin välityksellä generaattorissa sähköksi. Vesivoiman ohella ydinvoima on merkittävin päästöttömän sähköntuotannon muoto, sillä ydinvoimasta ei aiheudu kasvihuonepäästöjä. Hiilidioksidipäästöjen vähyden takia ydinvoimalla nähdäänkin olevan merkittävä rooli ilmastomuutoksen torjunnassa. [10; 11; 12]

Yleisimmät reaktorityypit ovat painevesireaktori ja kiehutusvesireaktori, jotka ovat myös Suomessa käytettävät reaktorityypit. Loviisan ydin-

voimalaitosyksiköt ovat painevesireaktorilaitoksia, kun taas Olkiluodon 1 ja 2 ydinvoimalaitosyksiköt ovat kiehutusvesireaktoreita. Olkiluoto 3:een on tulossa painevesireaktori samoin kuin Pyhäjoelle. [11; 13; 14]

#### **Fortum Power and Heat Oy** [15]

Sijainti: *Loviisa*

Reaktorit: *LO1 ja LO2*

Reaktorityyppi: *Painevesireaktori (PWR)*

#### **Teollisuuden Voima Oyj (TVO)** [16]

Sijainti: *Olkiluoto, Eurajoki*

Reaktorit: *OL1 ja OL2*

Reaktorityyppi: *Kiehutusvesireaktori (BWR)*

#### **Rakenteilla:**

Reaktorit: *OL3*

Reaktorityyppi: *Painevesireaktori (PWR)*

#### **Fennovoima Oy** [17]

#### **Suunnitteilla:**

Sijainti: *Pyhäjoki*

Reaktorit: *Hanhikivi 1*

Reaktorityyppi: *Painevesireaktori (PWR)*

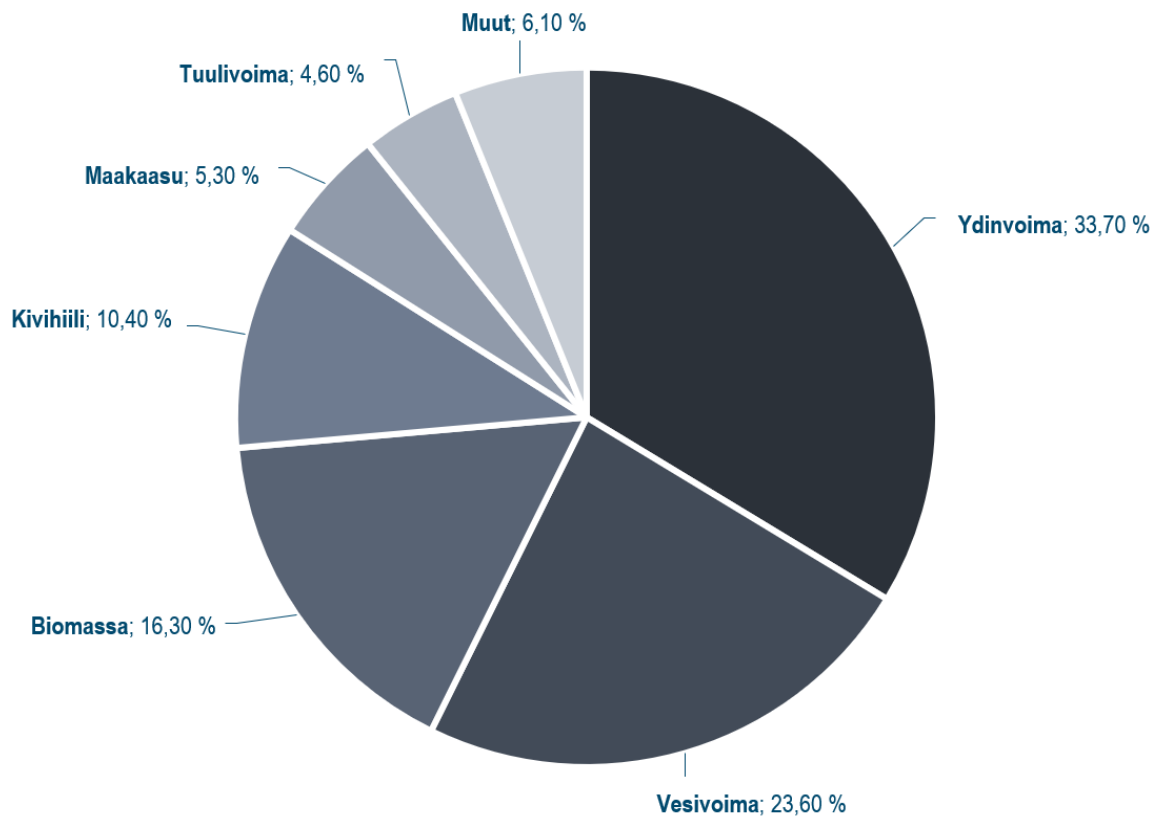
**Kiehausvesireaktorissa (BWR= boiling water reactor) ja painevesireaktorissa (PRW= pressurized water reactor) reaktorisydän koostuu polttoainesauvoista, joiden sisällä on uraanidioksidipolttoainetta. Sauvat on koottu 60–100 sauvaa sisältäviksi polttoainepiiksi. Sauvoja on yhteensä jopa muutamia kymmeniä tuhansia reaktorisydämissä ja reaktorisydän kokonaisuudessaan on suljettu paineastiaan. [18]**

Kummassakin laitostyyppissä reaktorisydämen läpi virtaavaan jäähdytysveteen siirtyy lämpöä polttoainesauvoista, jolloin jäähdytysvesi kuumenee. Kiehausvesireaktorissa jäähdytysvesi höyrystyy osin ja tämä radioaktiivinen höyry ohjataan höyryturbiinille. Painevesireaktorissa kuumentuneella primääripiirin radioaktiivisella ve-

dellä lämmitetään ja höyrystetään lämmönsiirtimen välityksellä sekundääripiirin vettä ja lämmönsiirtimessä kehittynyt höyry johdetaan höyryturbiineihin. [12; 18]

Molempien reaktortyyppien tehoa säädetään säätösauvoilla. Kun säätösauvoja työnnetään reaktorin sisään, ne absorboivat osan neutroneista itseensä ja siten hillitsevät fissioketjureaktiota. Tämä taas laskee reaktorin tehoa. Säätösauvoja käytetään myös reaktorin pikasulkuun eli nopeaan sammutukseen. Reaktorien tehoa voidaan säätää myös muilla keinoilla. [18]

Suomessa käytetystä sähköstä reilu neljäsosa tuotetaan ydinvoimalla (kuvio 2) ja luku nousee lähes 45 prosenttiin uusien voimalaitoksien val-



**Kuvio 2.** Vuoden 2016 sähköntuotanto energialähteittäin Suomessa. [10]



**Kuva 1.** Valvonta-alueella käytetään suojaruustusta. [2, s. 49] Kuva: Fortum.

mistuttua. Nykyisten ydinvoimalaitosten yhteiskapasiteetti on 2 750 megawattia ja kahden uuden voimalaitoksen yhteiskapasiteetti tulee olemaan 2 800 megawattia. Suomessa ydinvoimasta on saatu lähinnä myönteisiä kokemuksia, sillä voimalaitokset ovat toimineet turvallisesti jo vuosikymmeniä, minkä lisäksi niiden käyttökeruimet ovat maailman parhaimpien joukossa. Suomessa ollaan ensimmäisinä maailmassa ottamassa käyttöön ydinpolttoaineen loppusijoitusratkaisu. [10]

## 2.2 Ydinvoimala työskentely-ympäristönä

Ydinvoimalaitoksella tehdään monenlaisia töitä, jotka voivat vaatia työskentelyä esimerkiksi me-luisissa, korkeissa, ahtaissa, kylmissä tai kuumissa paikoissa. Laitoksen valvonta-alue (kuva 1) on alue, jossa on vaara materiaalin kontami-noitumiselle radioaktiivisen aineen vaikutuk-sesta, minkä vuoksi siellä ei saa olla mukana lääkkeitä, syötävää tai juotavaa. Valvonta-alu-eella ei myöskään ole WC-tiloja. Työskentelyyn tuovat lisähaastetta vaikeiden työskentelyolojen lisäksi suojavälineet ja -varusteet, joita joudu-taan käyttämään erityisesti tilanteissa, joissa on kontaminaation vaara. Suojavarusteiden määrä

arvioidaan työtehtävä kohtaisesti. Moninkertai-set suojaruusteet lisäävät työn kuormittavuutta, jos ne hankaloittavat liikkumista ja työskentelyä.

[2, s. 49; 19]

## 2.3 Ydinvoimalan ympäristön valvonta

Säteilyturvakeskus valvoo ydinvoimalaitoksen rakentamista ja käyttöä. Säteilyturvakeskus tarkastaa ennen ydinvoimalan rakentamista muun muassa luvanhaltijan laatimat ydinlaitoksen rakentamislupahakemuksen, ympäristön perustilan selvityksen tulokset, ympäristön säteilyvalvontaohjelman ja suunnitelmat ulkoisen säteilyn annosnopeuden mittauksista. Säteilyturvakeskus arvioi säteilyvalvontaohjelman sisältöä, jota luvanhaltijan tulee päivittää vähintään viiden vuoden välein. Säteilyturvakeskus valvoo säteilyvalvontaohjelman toteutumista, seuraa säteilyvalvonnan tuloksia ympäristössä sekä tekee ydinlaitoksella säännöllisiä tarkastuksia osana ydinlaitoksen käytön tarkastusohjelmaa. Säteilyturvakeskus tekee myös luvanhaltijasta riippumatonta valvontaa laitoksen käytön aikana otta-malla ja analysoimalla ympäristönäytteitä ydin-laitoksen ympäristöstä. [20, s. 7-10; 21, s. 41]

### Lisätietoa ydinvoimalaitoksen toiminnasta:

<https://www.stuk.fi/aiheet/ydinvoimalaitokset/miten-ydinvoimalaitos-toimii>

### Lisätietoa ydinvoimalan ympäristön säteilyvalvonnasta:

<https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLC-7>



### 3 SÄTEILYTÖ

Työtä, jossa työntekijän säteilyaltistus ionisoivalle säteilylle saattaa ylittää jonkun väestölle säädetyn annosrajan, kutsutaan säteilytyöksi. Säteilytyön ja säteilynsuojelun perustana toimii uusi 15.12.2018 voimaan tullut säteilylaki, joka puolestaan pohjautuu Euratomin neuvoston direktiiviin. Säteilylain keskeisenä periaatteena on, että kaikkien säteilyaltistustilanteiden on oltava oikeutettuja, optimoituja sekä noudattaa asetettuja annosrajoituksia. [22; 23]

Oikeutuksella tarkoitetaan sitä, että kaikesta säteilyn käytöstä, kuten ydinvoimalaitoksen toiminnasta on oltava enemmän hyötyä kuin haittaa yksilölle tai yhteiskunnalle. Optimoinnilla puolestaan tarkoitetaan sitä, että työntekijöiden ja väestön säteilyaltistuksen todennäköisyys, suuruus sekä altistuvien lukumäärä pidetään kohtuullisilla keinoilla mahdollisimman pienenä. Noudatetaan niin sanottua ALARA –periaatetta (As Low As Reasonably Achievable) eli säteilyannos pidetään niin pienenä kuin käytännöllisin keinoin on mahdollista. Mikäli annokset alittavat annosrajat, ei ole perusteltua jättää vähentämättä väestön tai työntekijöiden säteilyaltistusta ennestään, jos se on käytännöllisin keinoin mahdollista. Yksilön työperäinen tai väestöllinen säteilyaltistus ei saa ylittää asetettuja annosrajoja (ks. taulukko 1). Näitä annosrajoja ei kuitenkaan sovelleta potilaana olevan yksilön lääketieteelliseen säteilyaltistukseen. [22; 24, s. 3-4; 25, s. 406]

#### 3.1 Säteilyfysiikka

Säteily voidaan jakaa ionisoivaan ja ionisoimattomaan säteilyyn. Tämän jaottelun lisäksi säteily voidaan jakaa myös hiukkassäteilyyn ja sähkömagneettiseen aaltoliikkeeseen. Ionisoiva säteily voi olla sähkömagneettista aaltoliikettä, kuten röntgen- tai gammasäteilyä, tai hiukkassäteilyä, kuten alfa- tai beeta säteilyä. [26]

Säteilyn vaikutuksia mitataan erilaisilla suureilla. Yksi näistä suureista on **absorboitunut annos**, jolla ilmaistaan säteilyn jättämää energiamäärää kohdeaineeseen massayksikköä kohti eli J/kg. Absorboituneen annoksen mittayksikkö on gray (Gy). Absorboituneesta annoksesta voidaan laskea **ekvivalenttiannos**, joka kertoo säteilyn aiheuttamasta terveydellisestä haitasta kudokselle tai elimelle. [22; 27]

Kaikkien elinten ekvivalenttiannokset voidaan summata yhteen huomioiden jokaisen kudoksen ja elimen säteilyherkkyys. Lopputulokseksi saadaan **efektiivinen annos**, joka kertoo terveydellisestä haitasta, jonka säteily aiheuttaa kaikille kudoksille ja elimille niin sisäisesti kuin ulkoisesti. Efektiivisen annoksen ja ekvivalenttiannoksen yksikkö on sievert (Sv), jota käytetään usein muodossa mSv, eli millisievert. [22; 27; 28]

### 3.2 Säteilytyöntekijöiden luokittelu

**Säteilylle altistuvat työntekijät eli säteilytyöntekijät luokitellaan luokkiin A ja B**, kuvion 3 mukaisesti. Luokituksen tekee työnantaja, ja työterveyslääkäri antaa lausunnon työntekijän soveltuvuudesta kyseiseen luokkaan. Luokkaan A kuuluvat ne säteilytyöntekijät, joille aiheutunut efektiivinen annos voi ylittää 6 mSv vuodessa tai joilla ekvivalenttiannos voi ylittää vuodessa 150 mSv iholle ja raajoille tai 15 mSv silmän mykiölle. Luokkaan B kuuluvat kaikki ne säteilytyöntekijät, jotka eivät kuulu luokkaan A. Työperäiselle säteilyaltistukselle, opiskelijoille sekä väestölle on määritelty annosrajat. Nämä rajat muuttuivat 15.12.2018 uudistuneessa säteilylaissa. Annosrajalla tarkoitetaan efektiivistä annosta tai ekvivalenttiannosta määriteltynä ajanjaksona, mikä ei saa ylittyä yksittäisellä henkilöllä. Väestön altistuksella tarkoitetaan altistusta, joka ei ole lääketieteellistä tai työperäistä altistusta. Uudistuneet annosrajat on esitelty taulukossa 1. [21, s. 27; 22; 29; 30; 31]

Työpaikalla on tehtävä järjestelyitä säteilysuojelun toteutumiseksi, mikäli työntekijälle voi aiheutua väestölle asetettuja annosrajoja suurempi säteilyannos. Työntekijöiden säteilysuojelua toteutettaessa on otettava huomioon niin laitoksen kuin käytettävien säteilylähteiden luonne sekä mahdollisten riskien luonteet ja suuruudet. [22]

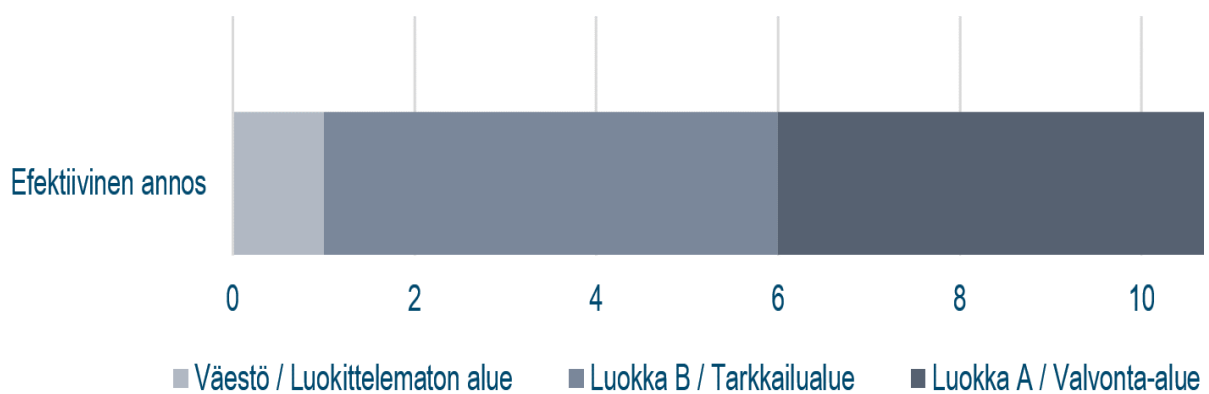
### 3.3 Työskentelyalueiden luokittelu

Työpaikan työskentelyalueet on tarvittaessa jaettava eri luokkiin (kuvio 3) mahdollisen altistuksen suuruuden ja todennäköisyyden, kontaminaatiovaaran sekä vuosiansosennusteiden mukaan. Näitä luokkia ovat valvonta-alue, tarkkailualue sekä luokittelematon alue. Luokitusta tehtäessä on otettava huomioon myös poikkeavan tapahtuman mahdollisuus. [22]

Ydinvoimalassa valvonta-alueella työskentely vaatii erityisiä turvaohjeita ja turvatoimia säteily- ja kontaminaatoriskin vuoksi. Kontaminaatiolla tarkoitetaan radioaktiivisten aineiden epätoivottua tai tahatonta esiintymistä pinnoilla, ihmiskehossa tai kiinteissä, nestemäisissä tai kaasumaisissa aineissa. Valvonta-alueella työskentelevälle työntekijälle voi aiheutua vuoden aikana efektiivinen annos, joka ylittää 6 mSv. Valvonta-alueella saa työskennellä sekä luokan A että luokan B säteilytyöntekijöitä, mutta luokan B säteilytyöntekijällä vuotuinen annosraja ei saa ylittää 6 mSv. Tarkkailualueella työskentelevän työntekijän vuotuinen efektiivinen annos voi olla 1–6 mSv, joten aluetta ei ole luokiteltu valvonta-alueeksi. Myös tällä alueella työskentelee molempien luokkien säteilytyöntekijöitä. Luokittelemattomalla alueella vuotuinen efektiivinen annos jää alle 1 mSv:in väestölle asetetun annosrajan mukaisesti. [22; 32]

Annosraja	Työperäinen altistus	18 vuotta täyttänyt opiskelija	16-18 vuotias opiskelija	Väestö
Efektiivinen annos (mSv/vuosi)	20	20	6	1
Ekvivalenttiannos (mSv/vuosi)				
silmän mykiö	ka. 20	ka. 20	15	15
iho	500	500	150	50
raajat	500	500	150	-

**Taulukko 1.** Työperäisen alistuksen sekä väestön annosrajat. [21, s. 27; 22; 31, 33]



**Kuvio 3.** Efektiivisen annoksen mukaiset annosrajat. [22; 31]

## 4 SÄTEILYTYÖNTEKIJÖIDEN TERVEYDEN SEURANTA

Ydinvoimalassa työskentelee satoja henkilöitä muiltakin teollisuuslaitoksilta tutuista ammattiryhmistä. Lisäksi ydinvoimalaitoksella työskentelee ydinvoimaspesifisiä ammattiryhmiä, kuten ydinvoimatekniikan diplomi-insinöörejä ja röntgenhoitajia. Röntgenhoitajilla on hyvä koulustausta säteilyn osalta sekä taitoa toimia aseptisesti. Ydinvoimatekniikkaa opiskelleilla on puolestaan parempi ymmärrys ydinvoimatekniikasta ja voimalaitoksen toiminnasta. Muita tavanomaisista voimalaitoksista poikkeavia ammattiryhmiä ydinvoimalaitoksessa ovat esimerkiksi säteilyturvallisuusryhmä sekä radiokemistit. Ydinvoimalan valvonta-alueen työntekijät ovat pääasiassa asentajia, laitoshuoltajia, käyttöhenkilöstöä ja muita käyttöä tukevia työryhmiä. [12; 34, s. 19-24, 51; 35]

Kaikki Fortumin voimalaitoksen säteilytyöntekijät kuuluvat luokkaan A ja näin ollen henkilökohtaisen annostarkkailun piiriin. Ydinvoimalaitoksen valvonta-alueella työskentelevät säteilytyöntekijät voidaan luokitella myös luokkaan B, mikäli tämä on perusteltua. TVO:lla säteilytyöntekijät jaotellaan luokkiin A ja B. TVO:lla A luokkaan kuuluvat ne, joiden efektiivinen annos voi ylittää 6 mSv vuodessa sekä ne, joilla on oltava riittävän hyvä fyysinen kunto ylimääräisten suojava-rusteiden käyttämiseen. Jokainen ydinvoimalaitos luokittelee omat työntekijänsä luokkiin A ja B voimalaitoskohtaisesti. [2, s. 48; 19; 32; 35; 36, s. 32]

Luokkaan A kuuluvan säteilytyöntekijän terveystarkastuksen suorittaa säteilytyöhön perehtynyt työterveyslääkäri. Edellytykset pätevytykselle ovat Työterveyslaitoksen tai Säteilyturvakeskuksen hyväksymän yliopiston järjestämän koulutuksen suorittaminen sekä luvan hakeminen Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirastolta.

[2, s. 48; 36, s. 32; 37]

*Säteilytyöntekijän terveystarkkailulla seurataan työntekijän terveydentilaa ennaltaehkäisevästi.*

Säteilytyöntekijän työterveystarkastukset pohjautuvat Euratomin direktiiviin säteilytyöstä, Suomen työterveyshuoltolakiin ja sen nojalta annettuun valtioneuvoston asetukseen 1485/2001 sekä työkyvyn arvioimiseen erilaisissa työtehtävissä. Terveystarkkailun tarkoituksena on ennaltaehkäisevästi seurata työntekijän terveydentilaa. Terveystarkkailussa varmistetaan, ettei työntekijän terveydentila ole esteenä säteilytyöhön ja että hän on soveltuva siihen. Säteilytyölle saattavat olla esteenä esimerkiksi huono psyykinen toimintakyky, ihosairaudet sekä tuki- ja liikuntaelimestön ongelmat, jotka estävät liikuttamisen, työskentelyn ja toimintakyvyn tarvittavissa suojava-rusteissa. Työntekijän terveydentilaa seurataan säteilytyön aikana, jotta havaitaan mahdolliset säteilytyön jatkamisen estävät muutokset. Jos työntekijän annosrajan epäillä tai todetaan ylittävän tai jos hän altistuu muuten poikkeavasti säteilylle, määritellään terveystarkkailun avulla altistuksen terveydellinen vaikutus.

[1; 2, s. 49; 19; 22; 36; 38; 39]

## 4.1 Terveystarkkailun sisältö

### 4.1.1 Alkutarkastus

Luokkaan A kuuluvan terveydentilaa tulee seurata, mutta tarkkaa terveystarkkailun sisältöä ei ole määritelty. Ennen kuin työntekijä aloittaa säteilytyön, hänelle tehdään alkutarkastus. Siinä työterveyshoitaja kartoittaa työntekijän esitiedot sekä sairaushistorian. Laboratoriotutkimuksia ei tehdä jokaiselle työntekijälle. Ne otetaan ennakkoon vain, jos työterveyslääkäri on katsonut ne tarpeelliseksi. Tarkastuksessa kartoitetaan työntekijän työtehtävät, työskentelyolot sekä säteilyn laatu ja voimakkuus. Nämä tiedot saadaan työnantajalta. Työntekijän työhistoria selvitetään mahdollisten aikaisempien säteilyaltistuksien ja annostarkkailun tulosten selvittämiseksi. Myös sairaushistoria kartoitetaan, jotta saadaan selville, onko työntekijä saanut esimerkiksi säde- ja isotooppihoitoja. [1; 2, s. 49-50; 22; 29, s. 54]

Alkutarkastukseen kuuluu edellä mainittujen lisäksi kliininen tutkimus, jonka suorittaa työpaikkaan ja säteilytyöhön perehtynyt työterveyslääkäri. Työntekijän neuvonta ja ohjaus ovat tärkeä osa tarkastusta ja erityisesti hedelmöitymisikäisille naisille painotetaan sikiön suojelun tarpeellisuutta sekä säteilyn vaikutusta raskauteen ja imetykseen. Sikiötä suojellaan kuten väestöä, eli sikiön efektiivinen annos ei saa 1 mSv ainakaan jäljellä olevan raskauden aikana. **Raskaana oleva säteilytyöntekijä ei voi toimia luokassa,**

**mutta voi työskennellä kuitenkin luokassa B.**

Tässäkään tilanteessa säteilyannos ei saa ylittää 1 mSv. [1; 2, s. 49-50; 19; 22; 29, s. 54]

Työterveyslaitos järjestää luokan A säteilytarkistuksia tekeville työterveyslääkäreille ja työterveyshoitajille koulutusta. Koulutus on pakollinen säteilytarkastuksia tekeville lääkäreille, mutta vapaaehtoinen työterveyshoitajille. Luokkaan B kuuluville säteilytyöntekijöille on pidettävä alkutarkastus viimeistään kuukauden kuluessa työn aloittamisesta. Tarkastuksen suorittavalle työterveyslääkärille ei ole erityisiä vaatimuksia säteilylaissa. [1; 22; 29, s. 53-54; 37; 40; 41, s. 8]

*Työntekijän neuvonta ja ohjaus ovat tärkeä osa säteilytyöntekijän terveystarkkailua.*

Alkutarkastuksen pohjalta työterveyslääkäri kirjoittaa lausunnon, jossa hän määrittää, soveltuuko työntekijä työnantajan luokituksen mukaan luokkaan A. Työntekijän soveltuvuus säteilytyöhön arvioidaan asteikolla: soveltuu, soveltuu seuraavin edellytyksin tai ei sovellu. Työntekijää ei saa luokitella luokkaan A, mikäli hän ei sovellu siihen terveydellisistä syistä. Määräaikaisessa työsuhteessa olevan työntekijän alkutarkastukseksi voidaan hyväksyä tarkastus, josta on kulunut alle vuosi aikaa. Aikaisemmin tehdyn terveystarkastuksen hyväksymisen edellytyksenä on, että työntekijän säteilyaltistuksessa, työoloissa tai työtehtävissä ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia. [22; 41, s. 5]

#### 4.1.2 Terveyden seuranta

Kaikkien luokkaan A kuuluvien säteilytyöntekijöiden soveltuvuutta säteilytyöhön sekä terveyttä on seurattava vuosittain. Lääkärintarkastus on tehtävä vähintään kolmen vuoden välein. Tarkastusten välisinä vuosina työntekijän terveyttä seurataan työntekijän kirjallisella vakuutuksella terveydentilastaan sekä työnantajan päivittämällä tiedoilla. Työntekijälle on kuitenkin annettava mahdollisuus käydä halutessaan vuosittaisissa terveystarkastuksissa. Terveyden seuranta voidaan jatkaa tarvittaessa työsuhteen päättymisen jälkeen työterveyslääkärin niin suositellessa. Vuosittaisten terveystarkastusten lisäksi työntekijälle voidaan tehdä ylimääräinen lääkärintarkastus, mikäli työn luonne muuttuu, työntekijän terveydentilassa tapahtuu selkeä muutos tai kun työntekijä on todettu soveltuvaksi työhön tietyillä edellytyksillä. Terveyden seurannasta on aina tehtävä kirjallinen merkintä työntekijän terveystietoihin. Alkutarkastuksen jälkeen luokkaan B kuuluvien säteilytyöntekijöiden terveyttä ei ole säteilysuojellisuudesta syistä seurattava säännöllisesti. [1; 2, s. 48-49; 22; 29, s. 54; 41, s. 6, 8]

#### 4.2 Tervystarkkailu poikkeustilanteissa

Luokkaan A kuuluvien säteilytyöntekijöiden säteilyannoksia on seurattava järjestelmällisesti hyväksytyyn annosmittauspalvelun suorittamilla henkilökohtaisilla säteilyannosmittauksilla. Suomen ydinvoimalaitoksilla säteilytyöntekijöiden säteilyaltistusta seurataan termoloistedosimetreillä, eli TL-dosimetreilla (kuva 2). Toisin kuin



Kuva 2. TL-dosimetri. Kuva: Doseco Oy.

luokkaan A kuuluvilla säteilytyöntekijöillä, luokkaan B kuuluvien työntekijöiden annostarkkailun on oltava riittävää, jotta pystytään osoittamaan, että nämä työntekijät on luokiteltu oikein luokkaan B kuuluviksi. [22; 42; 43]

Poikkeustilanteessa säteilytyöntekijän annosraja voi ylittyä, jolloin työterveyshuolto järjestää työntekijälle erityistarkkailun. Annosrajan ylityessä lääkärin on hyvä konsultoida Säteilyturvakeskusta. Mikäli annosrajan epäillä tai tiedetään ylittyneen, tulee työntekijän saama säteilyannos selvittää. Lisäksi on selvitettävä, missä ajassa annos on saatu, ja osoitettava vaadittavat toimet, kuten esimerkiksi kiireelliset hoitotoimet, jatkotutkimukset sekä dekontaminaatiotoimet. [1; 2, s. 49; 22; 41, s. 6]

Jos työntekijän säteilyannos ylittää 0,5 Sv, esimerkiksi onnettomuuden sattuessa, otetaan häneltä heti altistumisen satuttua sekä vuorokauden kuluttua täydellinen verenkuva (B-TVK).

Näitä verikoetuloksia vertailemalla voidaan arvioida ja ennustaa säteilyn aiheuttamia vaikutuksia. Työntekijän vointia on tarkkailtava suuren altistuksen jälkeen, koska paikallisen punoituksen ilmeneminen voi kertoa ulkoisen säteilylähteen aiheuttamasta säteilypalovammasta, kun taas pahoinvointi voi ennakoida alkavaa säteily sairautta. Jos työntekijän säteilyaltistuksesta ei saada luotettavaa arviota, voidaan hänelle tehdä Säteilyturvakeskuksen ohjeiden mukaan kromosomianalyysi. Mikäli työntekijän vuosiannosraja ylittyy, on silmien tarkastamista harkittava mahdollisen kaihin kehittymisen varalta. Lääkärin on tehtävä kirjallinen lausunto, jossa hän määrittää millä edellytyksillä työntekijä voi jatkossa tehdä säteilytyötä. [1; 29; s. 55; 41, s. 6; 44, s. 660-661; 45, s. 146]

### 4.3 Säteilytyön vaatimukset ydinvoimalaympäristössä

Työn vaatimukset ja työntekijän henkilökohtaiset piirteet vaikuttavat terveystarkastuksen sisältöön. Ydinvoimalassa säteilynsuojelua pyritään ensisijaisesti toteuttamaan asianmukaisesti koulutetulla henkilökunnalla, säteilyturvallisilla työskentelytavoilla sekä tarkoituksenmukaisilla tiloilla ja laitteilla eikä niinkään työntekijöiden terveyteen liittyvillä vaatimuksilla. Työntekijän on kuitenkin kyettävä noudattamaan annettuja ohjeita sekä ymmärtämään työn riskit. Säteilytyöntekijän on oltava yli 18-vuotias, vastuuntuntoinen ja kyettävä työskentelemään itsenäisesti sekä harkitsevasti. 16–18-vuotias voi toimia säteilytyöntekijänä ollessaan opiskelija tai harjoittelija. Säteilytyöntekijän terveydentilan ja psyykkisen voinnin on sovellettava tehtävään työhön. Hä-

nellä ei saa olla erityistä alttiutta äkillisille vakaville sairauskohtauksille, kuten esimerkiksi epilepsiaan, koska työntekijän terveydentila ei saa aiheuttaa riskiä suurempaan säteilyaltistukseen.

[1; 2, s.49; 19; 22]

Ulkooisen säteilyaltistuksen lisäksi säteilytyö ydinvoimalaitoksessa saattaa sisältää työtehtäviä, joihin liittyy suun tai ihon kautta tapahtuvaa radioaktiivisesta aineesta kontaminoitumista. Tällaisissa tapauksissa työntekijän terveyden yleisten vaatimusten lisäksi on huomioitava sairaudet, jotka heikentävät elimistön kykyä puhdistautua, kuten munuaisten toimintavajaus sekä vaikeat ihotaudit. Munuaistoiminta on huomioitava, koska elimistöön joutuneiden nuklidien erittyminen saattaa hidastua heikentyneen munuaistenfunktion takia. Käsissä voi olla vähäistä ihotumaa, kunhan se ei estä suojakäsineiden käyttöä, silloin kun riski ihon kontaminoitumiselle on pieni. Käsien ihon herkkyys ei saa olla esteenä riittävän suojarustuksen käytölle ja ihon on kestävä kontaminaatiotapauksessa pitkäkestoisesta puhdistusta. Vaikeissa ihotaudeissa iho on vaurioitunut ja tämän takia sisäisen kontaminoitumisen riski kasvaa tavallista suuremmaksi. Avoimet haavat estävät valvonta-alueella työskentelyn ydinvoimalassa. Pienikin haava on sisäisen kontaminaation riski radioaktiivisia aineita käytettäessä ja siten työskentelyn este. [1; 2, s. 50; 22; 41, s. 10-11]

Jos säteilytyötä tekevän työntekijän työtehtävät sisältävät mahdollisuuden sisäiseen tai ulkoi-

seen altistukseen sekä huomattavaan kontaminaatiovaaraan hengitysteitse, tulee terveyden tarkkailussa huomioida kaikkien edellä mainittujen lisäksi työntekijän keuhkot ja niiden toiminta. Ydinvoimalaitoksen valvonta-alueella tehdään vaativia huoltotöitä, joissa tarvitaan raskasta suojaruustusta sekä hengityssuojainta. Niiden käyttäminen vaatii normaalia sydämen sekä keuhkojen toimintaa. [1; 2, s. 50; 19]

Työolosuhteet ja terveydelliset rajoitteet, kuten toimintakykyä häiritsevät sairaudet, vaikuttavat säteilytyöluvan arviointiin. Kuten aiemmin on jo mainittu, ydinvoimalaitoksella tehdään vaativia töitä haastavissa tiloissa ja tilanteissa. Työskentely ydinvoimalaitoksessa määritellään turvallisuuskriittiseksi. [1; 2, s. 49]

Työskentelyä saattavat rajoittaa esimerkiksi vaikeat huimausta tai tasapainohäiriöitä aiheuttavat sairaudet. Epävakaa psyykinen oireisto voi olla

esteenä työskentelylle, koska esimerkiksi säteilyaltistuksen mahdollisuus saattaa aiheuttaa työntekijöissä ahdistusta. Toimintakykyä voivat rajoittaa vaikeat vireystilan häiriöt, keskittymiskyvyn vaikeus ja muut kognitiivisia häiriöitä aiheuttavat sairaudet. Henkilön sopivuutta ydinvoimalaitoksen työtehtäviin voivat rajoittaa myös ominaisuudet ja piirteet, kuten impulsiivinen käyttäytyminen tai riskinotto. Suojavälineet ja -varusteet voivat vaikeuttaa liikkumista jo ennestään haastavissa työskentelytiloissa henkilöillä, joiden toimintakyky on rajoittunut tuki- ja liikuntaelimestön tai hengitys- ja verenkiertoelimestön sairauksien vuoksi. Vaikka työntekijän terveydellinen tila vaatisi, ydinvoimalan valvonta-alueella ei ole pääsyä vessaan tai mahdollisuutta kantaa mukana lääkkeitä, syötävää tai juotavaa. [2, s. 49-50, 52]

#### **Mahdollisia esteitä säteilytyönteolle ydinvoimalassa [2, s. 49-51]**

- Sairaus, joka edellyttää mukana pidettäviä lääkkeitä
- Toimintakykyä häiritsevät sairaudet
- Alttius äkillisille vakaville sairauskohtauksille
- Tuki- ja liikuntaelimestön sairaudet
- Hengitys- ja verenkiertoelimestön sairaudet
- Vaikeat ihosairaudet
- Munuaisten vajaatoiminta
- Ahdistusoireet tai vakavat psyykkiset häiriöt
- Vaikeat vireystilan häiriöt
- Kognitiivisia häiriöitä aiheuttavat sairaudet
- Yliherkkyydet, jotka estävät suojaruusteiden käytön



## 5 SÄTEILYN AIHEUTTAMAT HAITTAVAIKUTUKSET

Säteily voi aiheuttaa haittavaikutuksia mihin tahansa kehon osaan. Kyseiset haittavaikutukset jaetaan deterministisiin ja stokastisiin haittoihin.

**Deterministiset haitat** liittyvät suuriin kerta-annoksiin ja ovat siten varmoja haittavaikutuksia.

**Stokastisilla haitoilla** ei ole kynnyksarvoa, vaan ne voivat saada alkunsa pienestäkin altistuksesta. Tällaisen satunnaisen haitan todennäköisyys kasvaa kuitenkin annoksen kasvaessa. [44, s. 661; 46, s. 15]

### 5.1 Deterministiset haittavaikutukset

Deterministisen haittavaikutuksen vakavuus määräytyy saadun säteilyannoksen mukaan.

Deterministiselle haitalle voidaan ilmoittaa kynnyksarvo, jonka ylittyä haittavaikutus tai oire on varma. Deterministisiä haittavaikutuksia on monia erityyppisiä, esimerkiksi harmaakaihi, säteily-sairaus luuydin- ja suolistovaurioineen, säteily-palovamma, sädepneumoniitti ja sikiövaurio. Näistä yleisimmät ovat iho- ja silmävammat. Taulukossa 2 on esitelty, kuinka suuri paikallinen ihoannos voi aiheuttaa alueelle annoksesta riippuen punoitusta, väliaikaista tai pysyvää karvanlähtöä, hyperpigmentaatiota, kuivaa tai kosteaa hilseilyä, haavauman sekä mahdollisesti ihon kuolion. Koska deterministisille haittavaikutuksille on olemassa kynnyksarvo, säästytään deterministisiltä haitoilta kynnyksarvon alapuolella pysyteltäessä. [44, s. 660; 46, s. 15; 47, s. 12; 48, s. 139]

Ihoannos (Gy)	Oire	Ilmenemisnopeus altistuksesta
2	Varhainen ohimenevä punoitus	28-48 tunnin sisällä
10	Punoitus	Muutamien viikkojen sisällä
15	Myöhäinen punoitus	Muutamien kuukausien sisällä
3	Väliaikainen karvanlähtö	3 viikon sisällä, kasvaa takaisin 8-12 viikon jälkeen
7	Pysyvä karvanlähtö	3 viikon sisällä
10	Hyperpigmentaatio	Kuukauden sisällä
14	Kuiva hilseily	Noin viikon jälkeen punoituksen ilmenemisestä
18	Kosteaa hilseilyä	Noin viikon jälkeen punoituksen ilmenemisestä
18	Iskeeminen ihon kuolio	10-16 viikon jälkeen
24	Sekundaarinen haavauma	Viikkojen tai kuukausien kuluessa kosteasta hilseilystä
>12	Myöhäinen ihon kuolio	3-4 vuoden kuluessa

**Taulukko 2.** Paikallisen ihoannoksen determinististen haittavaikutuksien kynnyksarvot. [46, s. 17; 47, s. 12]

**Säteilypalovamma** on merkittävä säteilyyn liittyvä vaara. Voimakkaan säteilylähteen joutuessa suoraan kosketukseen ihon kanssa, lyhytkin kontakti riittää aiheuttamaan palovamman. Verrattuna perinteiseen palovammaan, säteilypalovamma ei tule ilmi heti eikä altistusta voi havaita, sillä säteilylähde ei tunnu kuumalta eikä säteilyä pysty aistimaan siitä. Ominaista säteilypalovammalle on hidas alku, eteneminen aalloittain sekä uusiutuminen vielä kuukausien tai jopa vuosien kuluessa. Noin 3 Gy:n annokselle altistunut ihoalue alkaa punoittaa vasta useiden tuntien jälkeen ja parin viikon kuluessa ihon karvoitus häviää väliaikaisesti. Jos iho on altistunut suuremmalle säteilymäärälle, kehittyi iholle palarakkuloita ja avohaavoja muutaman viikon sisällä. Vielä suurempi säteilyannos vaurioittaa ihonalaisia verisuonia, mikä johtaa kuukausien kuluessa altistuneen ihoalueen kuolioon. Myös esimerkiksi pitkäaikainen läpivalaisu toimenpideradiologiassa saattaa aiheuttaa potilaalle niin suuren ihoannoksen, että säteilypalovamman vaara on olemassa. [44 s. 661; 49, s. 5; 50, s. 21]

Kehittyvä sikiö on herkkä säteilylle, sillä säteily vaikuttaa herkästi jakautuviin soluihin. Säteilyn vaikutus sikiöön riippuu säteilyannoksesta, annosnopeudesta sekä raskauden vaiheesta, sillä raskauden alkuvaikeilla sikiö on herkempi säteilylle. Korkea annos hyvin varhaisessa vaiheessa johtaa helposti raskauden keskeytymiseen, usein jo ennen raskauden toteamista. Kuten muillekin deterministisille haittavaikutuksille, myös sikiön kehityshäiriöille ja raskauden keskeytymiselle voidaan määritellä kynnyksarvot.

Raskauden kahdella ensimmäisellä kolmanneksella noin 0,1 Sv:in sikiöannos voi aiheuttaa älykkyyden alenemista ja pienipäisyyttä. Yli 0,5 Sv:in sikiöannos aiheuttaa sikiölle vakavaa jälkeenjääneisyyttä tai raskauden keskeytymisen. Säteilyn ei ole todettu aiheuttavan vakavia kehityshäiriöitä sikiölle loppuraskauden aikana. Sikiö voi saada säteilyaltistuksesta kuitenkin myös stokastisen haitan, joka saattaa aiheuttaa lapsen myöhemmässä kehitysvaiheessa syövän.

[49, s. 9-12]

Yksi vakava deterministinen haitta on säteily sairaus. Säteily sairaus on hengenvaarallinen tila ja syntyy kun koko keho saa äkillisen ja suuren, kynnyksarvon ylittävän säteilyannoksen. Koko kehon altistuksen deterministiset haittavaikutukset on esitelty taulukossa 3. Säteily sairauden oireet, niiden vakavuus ja ilmeneminen ajallisesti riippuvat saadusta annoksesta. Sairauden oireita ovat päänsärky, pahoinvointi, ripuli, tajuttomuus ja kehon lämpötilan nousu. Oireet johtuvat luuytimen tuhoutumisesta, jolloin kaikista verisoluista tulee puute. Lisäksi suoliston limakalvolla ilmenee vaurioita ja haavaumia. Säteily sairaus voi johtaa kuolemaan. [49, s. 4; 50, s. 19; 51, s. 124]

Säteily sairaustapaukset ovat hyvin harvinaisia, eikä niitä ole koskaan sattunut Suomessa. Tšernobylin ydinvoimalaonnettomuudessa toista satataitoksen henkilökunnan jäsentä ja palomiestä sairastui säteily sairauteen ja heistä 28 menehtyi muutaman kuukauden sisällä. Yli 1 Sv:in koko kehon annos johtaa säteily sairauteen. Yli 4 Sv:in annos on jo hengenvaarallinen

Koko kehon annos (Sv)	Oire	Huomioitavaa
0,5	Verenkuvan muutos	Muutos nähtävillä muutaman päivän sisällä
1	Säteily sairaus	Alkaa usein pahoinvoinnilla muutaman tunnin sisällä
4	Hengenvaarallinen annos, mahdollinen kuolema	Altistuneen henki voidaan pelastaa hyvällä hoidolla
10	Väistämätön kuolema	Altistuneen henkeä ei voida pelastaa parhaallakaan hoidolla

**Taulukko 3.** Koko kehon altistumisen determinististen haittavaikutuksien kynnsarvot. [49, s. 4]

ja voi johtaa kuolemaan ilman hyvää hoitoa. Yli 10 Sv:in koko kehon annos johtaa väistämättä kuolemaan. [49, s. 4-5]

## 5.2 Stokastiset haittavaikutukset

Säteily suojele pyrkii estämään niin suuret säteily altistumiset, että suorat eli deterministiset haitat olisivat mahdollisia. Säteilyannokset jäävät tavallisesti kuitenkin selvästi alle determinististen haittojen kynnsarvojen, joten normaalitilanteissa säteily suojeletoimet keskittyvät stokastisten haittavaikutusten, eli syöpäriskin ja perinnöllisten haittojen pienentämiseen. [49, s. 6]

Stokastiselle haitalle ei ole kynnsarvoa, vaan mikä tahansa säteilyannos voi aiheuttaa vuosien kuluessa satunnaisen haitan. Stokastisen haitan vakavuusaste ei ole riippuvainen annoksesta, mutta ilmaantuminen on todennäköisempää henkilön kokonaisannoksen kasvaessa. Stokastisista haittavaikutuksista merkittävin on syöpä kehittyneenä mutaatio. Toinen stokastinen haittavaikutus on perinnöllinen haitta, eli sukusolun mutaatiot, jotka esiintyvät säteilylle altistu-

neen jälkeläisillä. Stokastiset haitat tulevat ilmi vasta useiden vuosien kuluessa. [25, s. 129; 44, s. 661; 46, s. 15; 48, s. 139; 52, s. 5, 135]

Useimmat syöpätyypit voivat syntyä säteilystä, mutta yksittäisen syövän osoittaminen säteilyn aiheuttamaksi on mahdotonta. Säteilyn aiheuttamaa syöpää ei pystytä erottamaan muista syövästä, sillä säteilyn mahdollisesti aiheuttama syöpä ilmenee vasta vuosia altistuksen jälkeen. Säteilyn aiheuttama lisäriski syövälle säilyy kuitenkin koko loppuelämän. Erityisesti säteilyaltistus lapsuusiässä kasvattaa syöpäriskiä. [49, s. 6-7; 52, s. 5-7]

Perinnöllinen haitta on mahdollinen, jos ihmisen sukusolu altistuu säteilylle, altistuneeseen soluun syntyy perimämuutos ja kyseisestä solusta kehittyy aikanaan lapsi. Tämä muutos voi periä myös lapsen jälkeläisille. Samankaltaisia muutoksia syntyy sukupolvissa myös spontaanisti, eikä säteilyn mahdollisesti aiheuttamia perinnöllisiä muutoksia pystytä erottamaan spontaanisti syntyneistä. [49, s. 8-9; 25, s. 1]

## 6 TOIMINTAOHJE SÄTEILYVAARATILANTEESEEN

Ydinvoimalaitoksen toiminnasta ei aiheudu normaaliolosuhteissa haittaa ympäristölle tai ihmisille. On äärimmäisen epätodennäköistä, että kaikki ydinvoimalaitoksen turvallisuusjärjestelmät lopettaisivat toimimasta yhtäaikaisesti. Mikäli näin kuitenkin tapahtuisi, olisi seurauksena mahdollinen säteilyvaaratilanne. [53; 54]

*Normaaliolosuhteissa ydinvoimalan toiminta ei aiheuta haittaa ympäristölle tai ihmisille.*

Toimintaohjeet säteilyvaaratilanteisiin pohjautuvat maailmalla aiemmin sattuneisiin läheltä piti-tilanteisiin, varsinaisiin säteilyonnettomuuksiin ja onnettomuuden vaikutuksiin. Tunnetuimpia säteilyonnettomuuksia ovat Tšernobylin ja Fukushima ydinvoimalaonnettomuudet sekä Hiroshiman ja Nagasakin atomipommit. [49, s. 4; 55, s. 256; 56, s. 101]

### 6.1 Valtio

Viranomaisen on kehitettävä hyvä valmiustointi ja huolehdittava turvallisuusjärjestelmän muodostamisesta. Viranomainen vastaa myös toimintaan osallistuvien ammattilaisten säännöllisistä koulutuksista ja harjoituksista, jotta ensitoimet hätätilanteessa olisivat nopeita ja tehokkaita. Hätätilanteessa on taattava suojoitimet, kuten evakuointi, väestönsuojat, joditabletit, uudelleensijoittaminen sekä ruoan, maidon, juomaveden ja muiden hyödykkeiden säännösteleminen. [21, s. 29-30; 22; 56, s. 10-11, 83]

Valtio on velvoitettu ilmoittamaan välittömästi sen alueella tapahtuvasta tai mahdollisesti tapahtuvasta säteilyvaaratilanteesta niille maille, joita tilanne saattaa koskea. Valtioiden tulee tiedottaa myös kansalaisiaan sekä tehdä yhteistyötä muiden valtioiden kanssa mahdollisessa säteilyvaaratilanteessa. Näin helpotetaan säteilysuojelun toteuttamista ja organisointia näissä valtioissa. [22]

### 6.2 Pelastus- ja hoitohenkilökunta

**Säteilyvaaratilanteessa määritellään pelastushenkilöksi kuka tahansa henkilö, joka on osallistunut tilanteessa työskentelyyn työntekijänä ydinonnettomuuden tai muun säteilyyn liittyvän hätätilanteen alkamisen ja päätymisen välisenä aikana.** Ydinvoimalaonnettomuudessa ensihoidon ja pelastuslaitoksen lisäksi pelastushenkilöstöön lasketaan voimalaitoksen asianomaiset henkilökunnan jäsenet. Hätätilanteessa ensisijaiset pelastustoimet ovat ihmishenkien pelastaminen, vakavien determinististen haittavaikutusten estäminen sekä ihmisiin tai ympäristöön katastrofaalisesti vaikuttavien tapahtumien estäminen. Pelastushenkilökunnan säteilyannosta seurataan ja valvotaan henkilökohtaisilla dosimetreilla tai muilla asianmukaisilla keinoilla. Pelastushenkilöstön jäsenen efektiivinen annos koko pelastustyön aikana ei saa ylittää 50 mSv. [56, s. 52-53, 56-57, 60]

Ydinvoimalaympäristössä vastuu kontaminoituneen henkilön käsittelystä on ydinvoimalaitoksella. Ydinvoimalaitoksen on myös varauduttava antamaan ohjausta ja neuvontaa sekä tekemään säteilymittauksia sekä sairaankuljetuksen

aikana, että vastaanottavassa hoitolaitoksessa. Suomen ydinvoimaloiden lähellä olevien hoitopisteiden on varauduttava ottamaan vastaan potilaita, jotka ovat altistuneet säteilylle ja/tai kontaminoituneet. [50, s. 13]

*Ensimmäiset 48 tuntia ovat kriittisimmät suuren säteilyannoksen saaneen potilaan hoidossa.*

Suuren säteilyannoksen saaneen potilaan hoidossa ensimmäiset 48 tuntia ovat kriittisimmät. Ensimmäisenä tulee hoitaa hengenvaaralliset haavat ja palovammat. On tärkeää tiedostaa, että **suuren säteilyannoksen saanut potilas ei säteile itsessään**, jos hän ei ole kontaminoitunut säteilevään aineeseen. Mikäli potilas on kontaminoitunut, suoritetaan dekontaminaatio vasta, kun potilaan tila on saatu stabiiliksi. [57]

**Ulkoisen säteilyaltistus** aiheutuu kehon ulkopuolella sijaitsevasta säteilylähteestä. Säteily voi tunkeutua syvälle kehoon ja aiheuttaa säteily sairautta tai kudosisäilyä, vaikkei lähde olisi kosketuksessa ihmiseen. Säteilyannokseen vaikuttaa säteilyn voimakkuus ja altistusaika. Jos henkilö on altistunut ainoastaan ulkoiselle säteilylle, hän ei ole kontaminoitunut, eikä siten säteile tai levitä muutenkaan radioaktiivisuutta ympärilleen. Tällaisen potilaan hoidossa **ei tarvita suoja-toimia** hoitohenkilökunnalle tai ympäristölle. [50, s. 14]

**Ulkoisen kontaminaatio** syntyy, jos radioaktiivista ainetta tarttuu iholle, hiuksiin tai vaatteisiin.

Radioaktiivisen aineen olomuotona voi olla neste, aerosoli, pöly tai hiukkanen. Kontaminoitunut henkilö voi levittää radioaktiivisuutta ympäristöönsä, joten kontaminoituneen henkilön käsittelyssä **on käytettävä suojavaarustusta**. Henkilökunnan tulee käyttää suojavaatteita, käsineitä ja hengityssuojaimia suojatakseen itseään kontaminaatiolta. Nämä **suoja-toimet eivät kuitenkaan vähennä hoitohenkilökunnan altistusta potilaasta lähtevään säteilyyn**. Aika, suoja ja etäisyys ovat suoja-toimia potilaasta lähtevää säteilyä vastaan. Potilaan vierellä ei vietä aikaa enempää kuin pakollisten hoitotoimenpiteiden suorittamisen ajan ja silloinkin pyritään pitämään mahdollisimman suuri etäisyys potilaaseen. [50, s. 14; 58; 59, s. 1893-1894]

**Sisäinen kontaminaatio** syntyy usein ulkoisen kontaminaation seurauksena, jos radioaktiivista ainetta pääsee kehoon suun tai avohaavojen kautta tai hengityksen mukana. Vain harvat radioaktiiviset aineet imeytyvät ehjän ihon läpi. Kehoon kohdistuvat haittavaikutukset tai vauriot riippuvat säteilylajista. Altistuksen kesto riippuu radioaktiivisen aineen puoliintumisajasta sekä sen erittymisestä virtsan, ulosteen ja hien mukana. Sairaalan tuleekin ottaa huomioon sisäisesti kontaminoituneen potilaan eritteet, sillä ne voivat muodostaa säteilyhygieenisen ongelman. [50, s. 15]

Säteilyonnettomuudessa altistuneella henkilöllä voi olla isolle tai pienelle alueelle kohdistunutta ulkoista säteilyaltistusta sekä ulkoista ja/tai sisäistä kontaminaatiota. Hoidon tarpeeseen ja

ennusteeseen vaikuttavat myös mahdolliset konventionaaliset vammat. [50, s. 15]

### 6.3 Väestö

Viranomaiset antavat säteilyvaaran uhatessa väestölle ohjeet, joiden tarkoituksena on rajoittaa ja estää säteilyn vaikutuksia sekä terveyshaittoja mahdollisimman tehokkaasti. Toimintaohjeet on esitelty taulukossa 4. Ohjeet liittyvät muun muassa evakuointiin, suojautumiseen sekä joditablettien ottamiseen. Ydinvoimalaitoksille määritellään noin viiden kilometrin säteelle suojavyöhykealue, jolla ei saa olla pysyvää asutusta (kuva 3). Lisäksi ydinvoimalaitoksille määritellään 20 kilometrin säteelle ulottuva varautumisalue, jolle viranomaisten täytyy laatia säteilyonnettomuuden varalta pelastuslain mukainen ulkoinen pelastussuunnitelma. Ydinvoimalaitos toimittaa laitoksen lähistöllä asuvalle väestölle kolmen vuoden välein toimintaohjeet säteilyvaaran varalle yhteistyössä Säteilyturvakeskuksen sekä pelastuslaitoksen kanssa. [22; 53; 54]




Väestöä varoitetaan säteilyvaarasta yleisellä vaaramerkillä. Sen tunnistaa yhden minuutin kestoisesta äänestä, jossa nouseva ja laskeva ääni vuorottelevat 7 sekunnin mittaisissa sykleissä. Yleisen vaaramerkin kuuluessa on suojauduttava sisälle. Myös lemmikkieläimet ja tuotantoeläimet on siirrettävä sisätiloihin. Asuintalot tarjoavat hyvän suojan säteilyvaarassa, sillä rakennuksen rakenteet vaimentavat säteilyä. Säteilyvaaran aikana asunnon keskiosasta tai kellarikerroksesta saa parhaan suojan. Asunnosta on tehtävä mahdollisimman tiivis sulkemalla

kaikki ikkunat, ovet sekä ilmanvaihtoaukot, pysäyttämällä koneellinen ilmanvaihto ja tiivistämällä mahdolliset raot. Säteilyvaaran aikana on vältettävä ulkona oleskelua. [53; 54]

Vesijohtovesi säilyy puhtaana säteilyvaaratilanteesta huolimatta, samoin jääkaapissa ja pakastimessa oleva ruoka. Sen sijaan muut elintarvikkeet on suojattava tiiviisti. Ydinvoimalaitosonnettomuudesta saattaa päästä ulkoilmaan radioaktiivista jodia, jolta suojaudutaan joditableteilla.

**Joditabletteja ei tule ottaa ilman viranomaisen suositusta**, koska väärään aikaan otettu joditabletti ei estä yhtä tehokkaasti radioaktiivisen jodin kertymistä kilpirauhaseen. Joditabletteja myydään apteekeissa ja niitä suositellaan ostamaan kotiin. Joditabletteja ei kuitenkaan kannata lähteä ostamaan, jos viranomainen on kehottanut pysymään sisätiloissa tai yleinen vaaramerkki on annettu. [53; 54]

Säteilyvaaratilanteen aikana viranomaisten antamia ohjeita voi seurata televisiosta, teksti-TV:stä sekä radiosta. Puhelimen käyttöä on vältettävä, jottei puhelinverkon kuormitus vaikeuta pelastustoimintaa. Mikäli sisälle suojautuminen ei riitä suojaamaan säteilyvaaratilanteessa, voi viranomainen määrätä väestön poistumaan vaara-alueelta tilapäisesti. [53; 54]

	Toimintaohje	Huomioitavaa
	Kuuntele yleinen vaaramerkki	Äänimerkki on minuutin mittainen nouseva ja laskeva ääni
	Siirry sisätiloihin	Sulje ovet, ikkunat, ilmanvaihtolaitteet sekä tuuletusaukot
	Avaa televisio tai radio	Odotu rauhallisesti ohjeita ja toimi niiden mukaisesti
	Vältä puhelimen käyttöä	Näin puhelinverkko ei kuormitu
	Älä poistu alueelta ilman viranomaisten kehotusta	Näin et joudu tarpeettomaan vaaraan matkalla
	Ota joditabletti vasta viranomaisen kehotuksesta	Joditabletin teho pienenee liian aikaisin tai myöhään otettuna

**Taulukko 4.** Toimintaohjeet säteilyvaaran varalle. [53; 54; 60; 61; 62]



**Kuva 3.** Ydinvoimalaitoksen ympärillä on suojavyöhykealue. [53; 54] Kuva: Fortum.

## LÄHTEET

- [1] Wuolijoki, S. 2018. Kysymys opinnäytetyötä varten. Työterveyshuollon erikoislääkäri, Työterveyslaitos, Uudistuva työterveyshuolto. Sähköpostiviesti 25.10.2018.
- [2] Anttila, J., Autio, L. & Espo, T. 2012. Ydinvoimalan säteilyöntekijän terveystarkastus. Työterveyslääkäri 30 (4), 48-52.
- [3] Antonsen, S. 2009. Safety culture and the issue of power. Safety Science 47 (2), 183-191.
- [4] Chib, S. & Kanetkar, M. 2014. Safety Culture: The Buzzword to Ensure Occupational Safety and Health. Procedia Economics and Finance 11, 130-136.
- [5] Morrow, S. L., Koves, K. G. & Barnes, V. E. 2014. Exploring the relationship between safety culture and safety performance in U.S. nuclear power operations. Safety Science 69, 37-47.
- [6] IAEA 2008. Nuclear Security Culture: Implementing Guide. Wien: IAEA.
- [7] Varautuminen sisäisiin ja ulkoisiin uhkisiin ydinlaitoksessa 2013. YVL B.7. Säteilyturvakeskus. Helsinki.
- [8] IAEA 2006. Managing Nuclear Knowledge: Strategies and Human Resource Development. Wien: IAEA.
- [9] Ydinlaitoksen turvajärjestelyt 2013. YVL A.11. Säteilyturvakeskus. Helsinki
- [10] Energiateollisuus 2018. Ydinvoimalla päästötöntä sähkötuotantoa. Viitattu 12.10.2018, [https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/ydinvoima](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/ydinvoima).
- [11] Säteilyturvakeskus 2015a. Miten ydinvoimalaitos toimii. Viitattu 12.10.2018, <http://www.stuk.fi/ai-heet/ydinvoimalaitokset/miten-ydinvoimalaitos-toimii>.
- [12] Kontio, T. 2018. Oppaamme tekstisisältö kommentoitavaksi. Säteilyturvallisuusryhmän päällikkö, Fortum. Sähköpostiviesti 20.11.2018.
- [13] Säteilyturvakeskus 2017. Suomen ydinvoimalaitokset. Viitattu 12.10.2018, <http://www.stuk.fi/ai-heet/ydinvoimalaitokset/suomen-ydinvoimalaitokset>.
- [14] Säteilyturvakeskus 2015b. Fennovoiman ydinvoimalaitoshanke. Viitattu 12.10.2018, <http://www.stuk.fi/aiheet/ydinlaitoshankkeet/fennovoiman-ydinvoimalaitoshanke>.
- [15] Fortum 2018. Ydinvoima – hiilidioksidipäästötöntä energiaa. Viitattu 4.12.2018, <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/energiantuotantomme/ydinvoima-hiilidioksidipäästötonta-energiaa>.
- [16] TVO 2018. Laitosyksiköt. Viitattu 4.12.2018, <https://www.tvo.fi/laitosyksikot>.
- [17] Fennovoima 2018. Hanhikivi 1. Viitattu 4.12.2018, <http://fennovoima.fi/hanhikivi-1>.
- [18] Säteilyturvakeskus 2015c. Ydinvoimalaitostyytit. Viitattu 12.10.2018, <http://www.stuk.fi/aiheet/ydinvoimalaitokset/miten-ydinvoimalaitos-toimii/ydinvoimalaitostyytit>.
- [19] Anttila, J. 2018. Säteilytyö ydinvoimalassa -oppaan sisältö kommentoitavaksi. Vastaava työterveyslääkäri, Fortum Oyj Loviisan työterveysasema. Sähköpostiviesti 23.11.2018.
- [20] Ydinlaitoksen ympäristön säteilyvalvonta 2016. YVL C.7. Säteilyturvakeskus. Helsinki.
- [21] IAEA 2018a. IAEA Safety Standards: Radiation Protection of the Public and the Environment. Wien: IAEA.
- [22] Neuvoston direktiivi 5.12.2013/59 /Euratom.
- [23] Säteilyasetus 20.12.1991/1512
- [24] Ydinlaitoksen rakenteellinen säteilyturvallisuus 2013. YVL C.1. Säteilyturvakeskus. Helsinki.
- [25] IAEA 2011. IAEA Safety Standards: Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Wien: IAEA.
- [26] Säteilyturvakeskus 2015d. Mitä säteily on. Viitattu 4.11.2018, <https://www.stuk.fi/aiheet/mita-sateily-on>.
- [27] Harrison, J., Balonov, M., Bochud, F., Martin, C., Menzel, H., Ortiz-Lopez, P., Smith-Bindman, R., Simmonds, J. & Wakeford, R. 2018. Annals of the ICRP: The use of effective dose as a radiological protection quantity. Viitattu 5.11.2018, <http://www.icrp.org/docs/TG79%20Draft%20Report%20for%20Consultation%2020180424.pdf>.
- [28] Säteilyturvakeskus 2018a. Mitä säteily on? Viitattu 12.10.2018, <https://www.stuk.fi/aiheet/mita-sateily-on/sanasto>.
- [29] Alén, R. 2014. Viranomaismääräyksiä säteilyöntekijöiden terveystarkailusta. Työterveyslääkäri 32 (2), 53-57.
- [30] Säteilyturvakeskus 2018. Säteilylainsäädännön uudistus. Viitattu 21.11.2018, <https://www.stuk.fi/saannosto/sateilylainsaadannon-uudistus>.
- [31] Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltaminen ja säteilyannoksen laskemisperusteet 2014. ST 7.2. Säteilyturvakeskus. Helsinki.
- [32] Ydinlaitoksen työntekijöiden säteilynsuojelu ja säteilyaltistuksen seuranta. 2014. YVL C.2. Säteilyturvakeskus. Helsinki.
- [33] Valtioneuvoston asetus ionisoivasta säteilystä 22.11.2018/1034.



- [34] Työ- ja elinkeinoministeriö 2012. Kansallisen ydinenergia-alan osaamistyöryhmän raportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja: Energia ja ilmasto 2/2012.
- [35] Laukkanen, K. 2018. Opinnäytetyöhön liittyvä kysely/ Olkiluoto. Säteilysuojeluisinööri, Teollisuuden Voima Oyj. Sähköpostiviesti 3.12.2018.
- [36] Fortum. Tervetuloa töihin Loviisan voimalaitokselle. Esite. (ei julkaisuvuotta tai julkaisupaikkaa).
- [37] Laki lääkärin hyväksymisestä luokkaan A kuuluvien säteilytyöntekijöiden terveydentilan seurannan suorittavaksi lääkäriksi 24.3.2017/170.
- [38] Työterveyshuoltolaki 21.12.2001/1383.
- [39] Valtioneuvoston asetus terveystarkastuksista erityistä sairastumisen vaaraa aiheuttavissa töissä 27.1.2001/1485.
- [40] Työterveyslaitos 2018. Säteily ja terveys. Viitattu 26.11.2018, <https://koulutus.ttl.fi/Koulutukset/Tapahtuma-ja-koulutuskalenteri/Tutustu-tarkemmin/id/4357>.
- [41] Säteilytyötä tekevien työntekijöiden terveystarkkailu 2014. ST 7.5. Säteilyturvakeskus. Helsinki.
- [42] Säteilyturvakeskus 2018b. Annosmittauspalveluiden ja radonmittalaitteiden hyväksyntä. Viitattu 29.10.2018, <https://www.stuk.fi/stuk-valvoo/sateilyn-kayttajalle/sateilymittaukset/annosmittauspalveluiden-ja-radonmittalaitteiden-hyvaksynta>.
- [43] Doseco 2018. Termoloistedosimetri. Viitattu 29.10.2018, <http://www.doseco.fi/?id=8DA95FDE-A1BD45BF8BF9-0AB486D53A2D>.
- [44] Paile, W. 2000. Ionisoivan säteilyn haitat. Duodecim 116, 660-663.
- [45] Lindholm, C. 2002. Kromosomianalyysi altistusselvityksessä. Teoksessa T. Ikäheimonen (toim.) Säteily- ja ydinturvallisuus -kirjasarja. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 141-149.
- [46] Brown, K. & Rzcuidlo, E. 2011. Acute and chronic radiation injury. Journal of Vascular Surgery 53 (1), 15-21.
- [47] Killewich, L., Falls, G., Mastracci, T. & Brown, K. 2011. Factors affecting radiation injury. Journal of Vascular Surgery 53 (1), 9-14.
- [48] López, M. & Martín, M. 2011. Medical management of the acute radiation syndrome. Reports of Practical Oncology and Radiotherapy 16 (4), 138-146.
- [49] Säteilyturvakeskus 2009. Säteilyn terveysvaikutukset. Helsinki: Vammalan Kirjapaino Oy.
- [50] Sosiaali- ja terveysministeriö 2008. Säteilyonnettomuudet: Säteilylle altistuneiden tutkimus ja hoito. Helsinki: Yliopistopaino.
- [51] Macià i Garau, M., Calduch, A. & López, E. 2011. Radiobiology of the acute radiation syndrome. Reports of Practical Oncology and Radiotherapy 16 (4), 123-130.
- [52] IAEA 2007. IAEA Safety Standards: Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency. Wien: IAEA.
- [53] Itä-Uudenmaan pelastuslaitos 2016. Toimintaohje säteilyvaaran varalle. Viitattu 13.11.2018, [http://www.iupela.fi/filebank/2377-Toimintaohje\\_sateilyvaara\\_FI\\_2016.pdf](http://www.iupela.fi/filebank/2377-Toimintaohje_sateilyvaara_FI_2016.pdf).
- [54] Eurajoki 2017. Toimintaohje säteilyvaaran varalle. Viitattu 13.11.2018, [http://www.eurajoki.fi/wp-content/uploads/2017/05/Toimintaohje\\_sateilyvaara\\_2017\\_TVO\\_FI.pdf](http://www.eurajoki.fi/wp-content/uploads/2017/05/Toimintaohje_sateilyvaara_2017_TVO_FI.pdf).
- [55] Yamashita, S. 2016. Comprehensive Health Risk Management after the Fukushima Nuclear Power Plant Accident. Clinical Oncology 28 (4), 255-262.
- [56] IAEA 2018b. IAEA Safety Standards: Arrangements for the Termination of a Nuclear or Radiological Emergency. Wien: IAEA.
- [57] EBMT 2017. European approach for the medical management of mass radiation exposure: therapeutical management. Viitattu 13.11.2018, <https://www.ebmt.org/sites/default/files/2018-03/EBMT%20Nuclear%20Accident%20Committee%20Pocket%20Guide%202017.pdf>.
- [58] Daewong, H., Jaehyuk, K., Jaemoon, J., Jongpil, K., Jungha, K., Jungmin, K., Sujin, P., Yoonsuk H. & Yunhee K. 2018. Radiation distribution modeling for development of mobile diagnostic radiology with low-dose exposure. Viitattu 14.11.2018, <https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.10.193>.
- [59] Iliopoulos, E., Trompeter, A., Williams R. & Williamson M. 2018. Intra-operative fluoroscopy time and radiation dose during suprapatellar tibial nailing versus infrapatellar tibial nailing. Injury, Int. J. Care Injured 10 (49), 1891-1894.
- [60] Itä-Uudenmaan pelastuslaitos 2011. Yleinen vaaramerkki. Viitattu 13.11.2018, [http://www.iupela.fi/ohjeet/oppaat/toiminta\\_vaaratilanteessa/yleinen\\_vaaramerkki](http://www.iupela.fi/ohjeet/oppaat/toiminta_vaaratilanteessa/yleinen_vaaramerkki).
- [61] Pelastustoimi 2018. Toiminta yleisen vaaramerkin soidessa. Viitattu 13.11.2018, <http://www.pelastustoimi.fi/turvatietao/toimi-oikein-hatatilanteessa/toiminta-yleisen-vaaramerkin-soidessa>.
- [62] Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö 2018. Yleinen vaaramerkki ja sisälle suojautuminen. Viitattu 13.11.2018, <http://www.spek.fi/Suomeksi/Turvatietao/Onnettomudet-ja-hairiotilanteet/Vaaramerkki-ja-suojautuminen>.

**OAMK**

OULUN AMMATTIKORKEAKOULU